

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**Přírodovědecká fakulta**

**Ústav pro životní prostředí**

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí



**Barbora Basslerová**

## **Experimentální stanovení personální expozice $PM_{10}$ na vybraných pracovištích povrchového lomu na hnědé uhlí**

Personal exposure to  $PM_{10}$  of selected workplaces in a coal strip mine  
determined by experiment

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jan Hovorka, Ph.D.

Praha, 2015

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 22. 5. 2015

.....

podpis

**Poděkování:**

Především bych ráda poděkovala panu RNDr. Janu Hovorkovi Ph.D. za vedení při zpracování mé bakalářské práce, cenné rady a odborné konzultace. Můj dík patří i zaměstnancům Severočeských dolů a.s. Doly Nástup Tušimice, kteří mi umožnili terénní měření v uhelném lomu. Rovněž bych chtěla poděkovat své rodině za její stálou podporu během mého studia.

## **Abstrakt**

Práce porovnává experimentálně zjištěné hodnoty  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , respirabilní frakce a  $PM_{10}$  mezi kabinou řidiče a venkovním ochozem kolesového rýpadla v hnědouhelném lomu Doly Nástup Tušimice v období od 16. 3. do 23. 3. 2015. Pro měření koncentrací jednotlivých frakcí byly použity přenosné laserové nefelometry. Ve venkovním prostředí byla potvrzena převaha hrubého aerosolu, která z celkové doby měření představovala 82 %. Frakce  $PM_{10}$  převažovala ve venkovním prostředí a měnila se v průběhu dne, v závislosti na vykonávané činnosti pracovníka. Vliv na koncentraci  $PM_{10}$  měl pravidelný úklid zametáním v úsecích přesypů. V kabině řidiče byly zjištěny výkyvy koncentrací  $PM_{10}$  vlivem pobytu kuřáků na tomto pracovišti. Z těchto příčin dochází k rozdílu koncentrací mezi jednotlivými pracovními směny.

Současně byla monitorována teplota vzduchu a relativní vlhkost vzduchu v obou typech pracovního prostředí. V kabině řidiče teplota vzduchu dosahovala průměrně hodnot mimo optimální rozsah doporučený pro pracovní prostředí.

Práce dále zjišťuje personální expozici řidiče kolesového rýpadla, která se pro celkovou koncentraci pohybuje pod limitem. Potenciálně zdravotně rizikovějšími se jeví menší frakce.

## **Klíčová slova**

$PM_{10}$ , hrubý aerosol, prach, povrchová těžba uhlí, personální expozice

## **Abstract**

This thesis compares the experimentally determined values of  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$ , respirable fraction and  $PM_{10}$  between the cab drivers and the outdoor walkway of the bucket wheel excavator in the brown coal strip mine Doly Nástup Tušimice between March 16 and March 23, 2015. For the measurement of individual fractions, portable laser nephelometers were used. Superiority of coarse aerosol was confirmed outside from the total measurement time accounted for 82 %.  $PM_{10}$  fraction predominated outside and changed throughout the day depending on the activity carried out by a worker. Regular cleaning by sweeping stretches of dunes had an impact on  $PM_{10}$  concentrations. Fluctuations in the concentration of  $PM_1$  were detected in the driver cab due to smokers stay at this workplace. For these reasons there is a concentration difference between work shifts.

Air temperature and relative humidity were also monitored in both types of work places. The air temperature average values reached over the range recommended for the optimal working environment in the driver cab.

The thesis finds out personal exposure of a bucket-wheel excavator driver which is below the limit for the total concentration. Smaller fractions appears to be a potentially health risk.

## **Keywords**

$PM_{10}$ , coarse aerosol, dust, coal strip mine, personal exposure

# Obsah

<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>8</b>
<b>1 Úvod .....</b>	<b>9</b>
1.1 Vznik a původ aerosolových částic .....	9
1.2 Velikostní distribuce částic aerosolu a doba setrvání v atmosféře .....	9
<b>2 Cíl práce .....</b>	<b>10</b>
<b>3 Hrubý aerosol.....</b>	<b>11</b>
3.1 Zdroje a základní charakteristika.....	12
3.2 Zdroje hrubého aerosolu z povrchové těžby .....	12
<b>4 Měření koncentrace prachu v pracovním prostředí .....</b>	<b>14</b>
<b>5 Hygienické limity, účinky a možná opatření v pracovním prostředí .....</b>	<b>15</b>
5.1 Hygienické limity koncentrací prachu v pracovním prostředí .....	15
5.2 Účinky prachových částic na organismus .....	15
5.3 Možnosti snižování prašnosti v pracovním prostředí .....	16
<b>6 Doly Nástup Tušimice, charakteristika povrchového lomu .....</b>	<b>18</b>
6.1 Historie těžby v Severočeské hnědouhelné pánvi .....	18
6.2 Těžební činnost v současnosti .....	18
6.3 Technologie dobývání DNT .....	18
<b>7 Experimentální část.....</b>	<b>20</b>
7.1 Použité přístrojové vybavení .....	20
7.1.1 DustTrak.....	20
7.1.2 Teploměr-vlhkoměr AirFlow .....	20
7.2 Přípravné práce v laboratoři .....	21
7.3 Terénní výzkum.....	21
7.3.1 Umístění přístrojů na kolesovém rýpadle .....	21
7.3.2 Popis pracoviště .....	23

<b>8</b>	<b>Výsledky měření .....</b>	<b>24</b>
8.1	Kolokační měření .....	24
8.2	Měření na pracovišti kolesového rýpadla .....	26
<b>9</b>	<b>Diskuze.....</b>	<b>30</b>
<b>10</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>34</b>
	<b>Literatura .....</b>	<b>36</b>
	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>39</b>

## Seznam obrázků

- Obr. 1:** Procentuální zastoupení vdechovatelné, thorakální a respirabilní frakce z celkového polétavého prachu
- Obr. 2:** Doly Nástup Tušimice – provozní plochy a postup těžby
- Obr. 4:** DustTrak č. 2 umístěný v kabině řidiče
- Obr. 5:** DustTrak č. 1 situovaný na spodním ochozu rýpadla
- Obr. 6:** Lineární regrese DustTraků pro  $PM_1$
- Obr. 7:** Lineární regrese DustTraků pro  $PM_{2,5}$
- Obr. 8:** Lineární regrese DustTraků pro respirabilní frakci
- Obr. 9:** Lineární regrese DustTraků pro  $PM_{10}$
- Obr. 10:** Koncentrace  $PM_1$  uvnitř a venku od 16. 3. do 23. 3. 2015
- Obr. 11:** Koncentrace  $PM_{2,5}$  uvnitř a venku od 16. 3. do 23. 3. 2015
- Obr. 12:** Koncentrace respirabilní frakce uvnitř a venku od 16. 3. do 23. 3. 2015
- Obr. 13:** Koncentrace  $PM_{10}$  uvnitř a venku od 16. 3. do 23. 3. 201
- Obr. 14:** Hrubá frakce uvnitř a venku od 16. 3. do 23. 3. 2015
- Obr. 15:** Poměr hrubé frakce mezi vnitřním a venkovním prostředím od 16. 3. do 23. 3. 2015
- Obr. 16:** Týdenní průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu v kabině řidiče a na venkovním ochozu rýpadla od 16. 3. do 23. 3. 2015
- Obr. 17:** Průběh koncentrace frakce  $PM_{10}$  ve venkovním i vnitřním prostředí v úterý 17. 3. 2015. Zelené šipky znázorňují střídání směn, černá šipka pravidelný úklid zametáním
- Obr. 18:** Detailní průběh  $PM_1$  z kabiny řidiče ze dne 19. 3. od 06:00 do 18:00
- Obr. 19:** Variabilita hodnot mezi jednotlivými pracovními směnami uvnitř pro  $PM_1$  a venku pro  $PM_{10}$  (vyjádřená jako aritmetický průměr a směrodatná odchylka)
- Obr. 20:** Statistické vyhodnocení frakce  $PM_1$  a  $PM_{10}$  ve vnitřním i venkovním prostředí pro jednotlivé dvanáctihodinové pracovní směny v průběhu týdne

## Seznam zkratk

PM – Particulate Matter

DNT – Doly Nástup Tušimice

DPD – Dálková pásová doprava

DT – DustTrak

THP – Technicko-hospodářský pracovník



# 1 Úvod

Atmosférický aerosol je definován jako soubor organických a anorganických tuhých, kapalných nebo směsných částic různého původu, jejichž velikost je od 1 nm do 100  $\mu\text{m}$ . Právě velikost je jedním z nejvýznamnějších parametrů ovlivňující chování atmosferického aerosolu. Částice s nejvyšší mírou pravděpodobnosti výskytu v atmosféře mají velikost kolem 0,3  $\mu\text{m}$ , mohou se shlukovat a vytvářet viditelné a známé jevy. Mlhy a oblaka vznikají především kondenzací vodních par (Hovorka *et al.*, 2009). Pevné aerosolové částice jsou v podobě prachu (Jungwirth, 2003). Zastoupením tuhých a kapalných složek lze definovat kouř i smog (Bartovská a Šišková, 2005).

## 1.1 Vznik a původ aerosolových částic

Aerosoly se formují konverzí plynů na částice nebo rozpadem kapalin či pevných látek na jemnější složky (Baron *et al.*, 2011). Podle vzniku rozeznáváme aerosoly primární a sekundární. Primární částice jsou takové, které jsou ze zdroje do atmosféry emitovány přímo prostřednictvím přírodních i antropogenních procesů. Mohou se tvořit na stavbách, nezpevněných cestách, v komínech nebo při jiných spalovacích procesech (Particulate Matter (PM), [online]). Z přírodních zdrojů se generují částice zejména ve formě mořského aerosolu, sopečného prachu, bioaerosolu a také kosmického spadu. Sekundární částice, jelikož nemají svůj vlastní zdroj, vznikají až v atmosféře chemickými a fyzikálními procesy. Současně mezi ně řadíme i částice dostávající se do ovzduší resuspenzí, tedy zviřením v důsledku lidské činnosti (Suspendované částice (aerosol), [online]).

Chování aerosolu v atmosféře se odvíjí od základních parametrů, kterými jsou velikost, tvar a hustota částic. Čím jsou částice jemnější, tím spíše jsou ovlivňované Brownovým pohybem daným především difúzí. Oproti tomu pohyb velkých částic, viditelných pouhým okem, je zejména determinován procesy gravitace a sedimentace (Hovorka *et al.*, 2009).

## 1.2 Velikostní distribuce částic aerosolu a doba setrvání v atmosféře

Jednou z nejdůležitějších charakteristik aerosolu je jeho distribuce podle velikosti částic (Hind, 1999). Trimodální distribuce (popsaná Whitbym v roce 1978) vychází z velikosti částic a hmotnostní koncentrace. Tvoří ji dva módy s jemnými částicemi, tzv. nukleačním a akumulačním, a mod hrubých částic, mezi nimiž je hraniční rozměr 1  $\mu\text{m}$  (Hovorka *et al.*, 2009).

Částice nukleačního modu, nazývané také jako ultrajemné částice, se velikostně pohybují v rozmezí 1 až 0,1  $\mu\text{m}$  (nejčastěji do 30 nm). Do atmosféry jsou často emitovány v důsledku vysokoteplotních procesů nebo vznikají fotochemickými reakcemi. Jejich doba setrvání je krátká (vteřiny až desítky minut), jelikož poměrně rychle koagulují s většími částicemi, nebo jsou zdrojem kondenzačních jader důležitých pro vznik mraků a mlhy (Chow, 1995).

Částice akumulčního modu mohou mít velikost od 100 do 500 nm a jsou nejpočetněji zastoupenými částicemi v troposféře (Akumulační mod, [online]). Vznikají koagulací menších částic emitovaných při spalovacích procesech, dále také kondenzací plynu, vody a chemickými reakcemi. V atmosféře setrvávají mnohem déle, než částice nukleačního modu (dny až týdny) a odstraňují se zejména mokrou depozicí (Hovorka *et al.*, 2009).

Částice větší než 1  $\mu\text{m}$  řadíme do modu hrubých částic, které vznikají účinky mechanických sil na pevnou hmotu. Tvoří je minerální částice, respektive prach vytvářený větrem nebo lidskou aktivitou, potom také biologické částice a mořské soli. Jejich doba setrvání v atmosféře se odvíjí od sedimentačních a turbulentních procesů v mezní vrstvě atmosféry (Hovorka *et al.*, 2009).

## 2 Cíl práce

Hlavním cílem práce je změřit rozdíl frakcí  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ , respirabilní a  $\text{PM}_{10}$  mezi kabinou řidiče a venkovním ochozem kolesového rýpadla K 800 N/2 v hnědouhelném povrchovém lomu v Dolech Nástup Tušimice. Navazujícím cílem je zjištění množství a příčiny hrubé frakce v kabině řidiče a vysledovat, jak se chovají koncentrace prachu v průběhu jednotlivých pracovních směn, případně jaký vliv na koncentrace mají konkrétní pracovní činnosti.

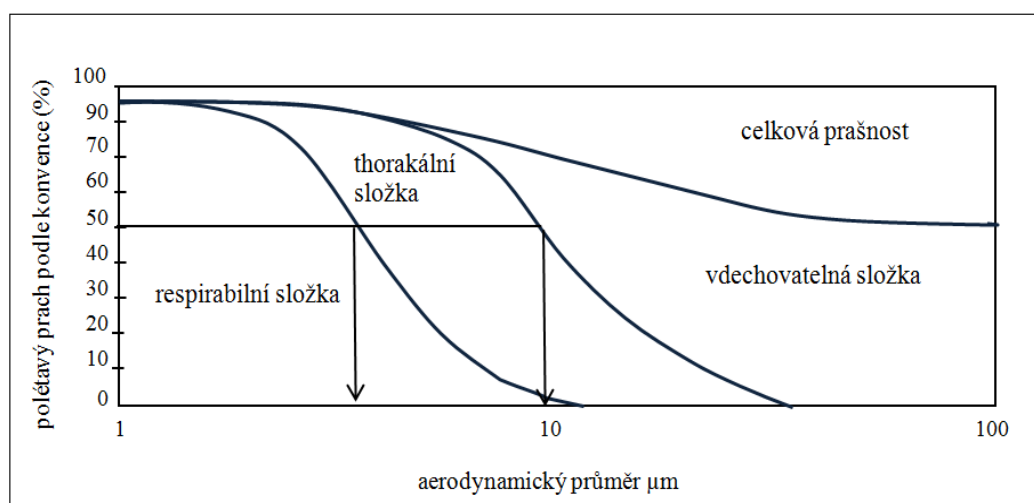
Předpokládána je převaha částic frakce  $\text{PM}_{10}$  na venkovním ochoze kolesového rýpadla, zatímco v kabině řidiče je očekáván výrazný pokles těchto částic. Současně se lze domnívat, že významný podíl na průměrné denní koncentraci venkovní hrubé frakce bude mít pravidelný úklid zametáním.

### 3 Hrubý aerosol

Prach je souborem hrubých částic vzniklých drcením nebo jiným působením, které vede k fyzickému rozpadu matečného materiálu (Baron *et al.*, 2011). Tyto částice jsou nepravidelného tvaru o velikosti od 1 do 10  $\mu\text{m}$ , které se postupně usazují vlivem gravitace (WHO, 1999). Množství prachových částic v objemové jednotce plynu nazýváme prašností. Prašnost lze také definovat jako vlastnost určitého prostředí, v němž se vyskytuje nadměrné množství prachových částic. Vyjadřuje se buď v objemových jednotkách, nebo váhově (Madar a Pfefer, 1973).

Pro hodnocení atmosférických aerosolů z hlediska zdravotního účinku na člověka byly definovány velikostní skupiny označované  $\text{PM}_x$  (Particulate Matter), kde  $x$  je aerodynamický průměr o hodnotě 10, 2,5 nebo 1  $\mu\text{m}$ , a které separační zařízení oddělí s 50% účinností (Loučka, 2014). Aerodynamický průměr je průměr koule o hustotě  $1000 \text{ kg/m}^3$ , která má stejnou rychlost sedimentace jako příslušná částice (Baron *et al.*, 2011).

Částice  $\text{PM}_{10}$ , mající aerodynamický průměr menší než 10  $\mu\text{m}$ , se zachycují v dýchacím ústrojí, čímž představují významná zdravotní rizika. Bývají označovány buď jako vdechovatelná nebo thorakální frakce. Vdechovatelná frakce reprezentuje hmotnostní složku polétavého prachu, která je vdechnuta nosem a ústy, přičemž množství vdechovatelné koncentrace ovlivňuje řada faktorů (rychlost a směr proudění vzduchu a frekvence dýchání). Thorakální frakce proniká za hrtan do spodních cest dýchacích (ČSN EN 481). Respirabilní frakcí se nazývají částice o průměru přibližně 5  $\mu\text{m}$ .



**Obr. 1:** Procentuální zastoupení vdechovatelné, thorakální a respirabilní frakce z celkového polétavého prachu (Prašnost na pracovišti, [online]).

V alveolární oblasti plic dochází k zachycení částic menších než 2,5  $\mu\text{m}$  (Fierro, 2000). Největší riziko představují částice  $\text{PM}_{10}$  pronikající až do krevního oběhu. Platí, že čím jsou částice jemnější, tím větší riziko pro člověka představují, jelikož se dostávají hlouběji do dýchacího ústrojí, odkud není možné je odstranit (Brown *et al.*, 2013). Kumulativní distribuci jednotlivých frakcí znázorňuje obrázek 1.

### 3.1 Zdroje a základní charakteristika

Prach patří mezi nejrozšířenější škodliviny, se kterými se setkáváme v každodenním životě, ať už ve vnitřním, venkovním nebo v pracovním prostředí. Přítomnost prachu ve vzduchu se odvíjí od jeho původu, fyzikálních vlastností a podmínek okolního prostředí (WHO, 1999). Prach se tvoří v důsledku lidské činnosti při mechanickém rozrušování pevných materiálů (dobývání nerostných surovin, řezání, broušení a vrtání) a také při procesech rozmělnovacích (drcení a mletí) (Prašnost na pracovišti, [online]). V pracovním prostředí se může vyskytovat celá řada prachů podle zaměření výroby. Znalost původu prachu je nutná pro jeho následné hodnocení, respektive porovnání s hygienickými limity. Rozeznávají se například:

- *minerální prachy*, které doprovázejí provozy uhelných dolů a cementáren;
- *kovové prachy* nalezneme v průmyslu pro zpracování niklu, kadmia a beryllia;
- *jiné chemické prachy*, vyskytující se především v chemickém průmyslu;
- *organické prachy*, jež jsou hojné v potravinářském průmyslu a zemědělství;
- *prachy biologicky nebezpečné* nalézáme zejména v lékařství.

Prach nevzniká pouze antropogenními aktivitami, ale při jeho vzniku se uplatňují také přírodní procesy jako je činnost sopek, rozptýlení částic vlivem proudění vzduchu nebo může vznikat na mořském pobřeží (WHO, 1999).

### 3.2 Zdroje hrubého aerosolu z povrchové těžby

Technologie dobývání se v jednotlivých povrchových lomech mohou lišit. Ke zvyšování koncentrací prachu v samotném areálu dolů, ale také okolních obcí, přímo či nepřímo přispívají všechny významné těžební činnosti. V případě povrchových lomů generují prach těžební stroje, jako jsou kolesová rýpadla, zakládače, pásové dopravníky a důlní doplňková mechanizace. Z turecké studie Ondera a Yigita (2008) vyplývá, že mezi nejvýznamnější důlní práce, z hlediska množství prachu, patří odstraňování skryvky, činnosti na uhelných skládkách, nakládání uhlí, vrtání, odstřelování, nakládání, vykládání a převoz vytěžených surovin. V počáteční fázi povrchové těžby dochází k odtěžení nadložní vrstvy, pod níž se skrývá uhlí, kdy ovzduší je znečišťováno právě odstraňováním a transportem tohoto svrchního materiálu. Proto je i tato

operace prvním zdrojem produkce PM. Rozrušování hornin (vrtání a odstřelování) jsou druhým významným zdrojem PM a při vhodném tvaru, velikosti a disperzi, mohou tyto částice zůstat v atmosféře poměrně dlouhou dobu (Gautam *et al.*, 2012). V Dolech Nástup Tušimice (DNT) ovšem nejsou tyto technologie využívány z důvodů měkkého, převážně jílovitého, podloží.

Dále tato studie uvádí, že při nakládání a transportu se uvolňují částice o různé velikosti a v závislosti na rychlosti proudění vzduchu jsou pak roznášeny. Převoz materiálu zajišťují v lomu často nákladní vozy a kloubové dumpery. Znečištění je velmi vysoké jak v místě nakládky a vykládky vytěženého materiálu, tak během přepravy v důsledku kontaktu pneumatik zmíněných strojů s povrchem cest. Znečištění následkem vykládky surovin se silně odvíjí od výšky, ze které je materiál shazován, a také od proudění vzduchu (Gautam *et al.*, 2012). Nejvyšší koncentrace PM vznikají právě při vrtání, zauhlování elektrárny, ze zakládačů a v důsledku nakládání skřívky a uhlí (Onder a Yigit, 2008).

V případě DNT se pro převoz vytěženého uhlí nákladní automobily ani kloubové dumpery nevyužívají, k transportu je určena výhradně dálková pásová doprava (DPD), kterou je uhlí dopravováno až do Ústřední drtírny uhlí. Proto nakládání, přeprava a vykládání surovin jinými prostředky než DPD nepatří v uhelném lomu mezi hlavní činnosti spojené s výskytem prachových částic. Všechny těžební stroje, včetně DPD jsou napájeny z elektrické sítě. Z tohoto důvodu je zřejmé, že zde nejsou zdroje jemných a ultrajemných částic, vzniklých v důsledku spalovacích procesů motorů.

Je očividné, že povrchové doly zatěžují ovzduší na větší ploše. Zvýšené koncentrace prachu zaznamenávají i dotčené obce přilehlé k dolu. Jedná se o otevřenou krajinu, proto imise prachu budou postihovat rozsáhlejší území. V případě hlubinných dolů ovlivňují vysoké koncentrace prachu zejména pracovní prostředí osob. Emitovaný prach z této činnosti pro okolní obce již není tak významný (Bindhu a Sanjaya, 2012).

Z výše uvedených důvodů podléhá každý nový těžební záměr přísnému schvalovacímu řízení a každá aktivně provozovaná i k technické likvidaci připravovaná důlní lokalita musí splňovat požadavky zákonů sledujících ochranu životního prostředí (Vrbová a Vrba, 2000).

## 4 Měření koncentrace prachu v pracovním prostředí

Pro zjišťování personální expozice se limity, podmínky a rovněž i způsob sledování, posuzování, hodnocení a řízení kvality ovzduší stanovují Nařízením vlády č. 361/2007 Sb.

Laboratoř hygieny práce v DNT, která provádí měření vdechovatelné a respirabilní frakce polétavého prachu v pracovním prostředí, používá gravimetrické stanovení, podle Nařízení vlády 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. Postup zkoušky spočívá ve stanovení hmotnostní koncentrace vdechovatelné a/nebo respirabilní frakce v pracovním ovzduší osobní nebo stacionární odběrovou aparaturou. Každé měření se skládá ze tří částí. Jsou to jednak přípravné práce v laboratoři, vlastní odběr, zpracování vzorku a výpočet koncentrace prachu. Metoda se využívá pro krátký časový interval, většinou odpovídá jedné pracovní směně.

Před měřením se na analytických vahách zváží čistý filtr. Odběr vzorku spočívá v prosávání zkoumaného vzduchu odběrovou aparaturou se zváženým filtrem. Zachycený vzorek prachu je následně uchováván a transportován do laboratoře. V laboratoři se filtry umísťují v Petriho miskách v exsikátoru do dalšího zpracování. Následně se filtr se vzorkem prachu zváží a z rozdílu hmotnosti filtru před a po měření se vypočítá celková hmotnost prachu (Nařízení vlády 361/2007 Sb.).

Existují ovšem i on-line metody měření. Mezi standardní patří oscilační mikrováhy nebo přístroje využívající pro detekci absorpci beta záření (Spielvogel et al., 2011). Pro rychlost a jednoduchost se často využívají nefelometry. Jejich měření je ale zatíženo systematickou chybou vyplývající ze závislosti intenzity rozptýleného světla na vlastnostech jednotlivých částic. Tento optický aerosolový spektrofotometr byl použit při experimentálním stanovení pro bakalářskou práci. Přestože pro tuto metodu nejsou stanoveny hygienické normy a aplikace takových nástrojů není podložena naší legislativou, lze ji použít jako doplňkovou metodu ke standardním metodám.

## **5 Hygienické limity, účinky a možná opatření v pracovním prostředí**

### **5.1 Hygienické limity koncentrací prachu v pracovním prostředí**

Hygienickými limity se rozumí přípustné expoziční limity, které se označují jako PEL a nejvyšší přípustné koncentrace, označované jako NPK-P. PELc vyjadřuje přípustné expoziční limity pro celkovou vdechovatelnou frakci a PELr pro respirabilní frakci (Nařízení vlády 361/2007 Sb.).

V pracovním prostředí jsou hygienické limity jiné než v životním prostředí a odvíjejí se od délky pracovní doby. Při jejich stanovování je důležité si uvědomit, že v pracovním prostředí jsou osoby vystavené rizikovým faktorům pouze omezenou dobu a jsou jim exponovány dospělá a zdravá osoba, zatímco v přírodním prostředí celá populace.

Podle Nařízení vlády 361/2007 Sb. pro osmihodinovou pracovní dobu je stanoven limit  $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , z toho plyne, že pro dvanáctihodinovou hodinovou pracovní dobu (obvyklá pracovní doba zaměstnanců DNT) je limit  $6,7 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Ve čtvrté kategorii rizika negativního účinku na zdraví jsou pak pracovníci, u nichž byl zjištěn trojnásobek této hodnoty. Na rozdíl od černouhelného prachu neuvádí Nařízení vlády 361/2007 Sb. limit respirabilní frakce pro hnědouhelný prach a lignit.

### **5.2 Účinky prachových částic na organismus**

Hnědé uhlí a lignit se řadí mezi prachy s nespecifickým účinkem (Nařízení vlády 361/2007 Sb.). Lidský organismus, exponovaný tomuto prachu, může reagovat různě, existují tak velké interindividuální rozdíly.

Prachové částice se do organismu dostávají především vdechováním. Jejich následné chování ovlivňuje aerodynamický průměr těchto částic a způsob vdechnutí, nosem nebo ústy (Hůnová a Janoušková, 2004). V pracovním prostředí se účinky odvíjejí především od množství prachu a tělesné namáhavosti práce, tedy nároků na plicní ventilaci.

Nejvýznamnějším účinkem prachových částic může být i předčasné úmrtí v souvislosti s onemocněním srdce či plic, dále pak méně závažné srdeční infarkty, nepravidelný srdeční tep, zhoršení bronchiálního astmatu, snížení funkce plic a v neposlední řadě podráždění dýchacích cest, vedoucí ke kašli nebo jiným potížím s dýcháním (Helath, [online]). Míru zdravotního rizika ovšem ovlivňuje řada faktorů. Náleží mezi ně především doba, během které je člověk exponován vyšším koncentracím suspendovaných částic (Liu *et al.*, 2003). V případě pracovníků

kolesového rýpadla je důležité zjistit přesnou dobu, kterou zaměstnanci stráví venku na kontrolních pochůzkách, pro výpočet jejich expozice během pracovní směny.

Z vyhlášky 432/2003 Sb., kterou se stanoví podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, podmínky odběru biologického materiálu pro provádění biologických expozičních testů a náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli, vyplývá povinnost zaměstnavatele provádět na pracovišti tzv. kategorizaci prací, sloužící k hodnocení vlivů práce na zdraví. Celkem jsou pracovníci rozřazováni do čtyř kategorií podle míry rizika. Do kategorie první se řadí všechny práce, při nichž nepříznivý vliv na zdraví není pravděpodobný. V kategorii druhé lze výjimečně u vybraných jedinců očekávat nepříznivý vliv práce na zdraví, ačkoliv hygienické limity nejsou překračovány. Při překročení hygienických limitů na pracovišti řadíme práce buď do kategorie tři, nebo čtyři. Při práci v kategorii třetí je možný opakovaný výskyt nemocí z povolání, zatímco v kategorii čtvrté je vysoké riziko ohrožení zdraví i přes používání dostupných a použitelných ochranných opatření.

### **5.3 Možnosti snižování prašnosti v pracovním prostředí**

Chránit pracovníky před nadměrnou prašností je možné různými prostředky. Jednou z prevencí jsou opatření technologická, kterými lze měnit dosavadní technologie za takové, při kterých prach nevzniká vůbec, nebo jen ve sníženém množství. To je ovšem v případě povrchového lomu (otevřeného prostoru) obtížně proveditelné a to zejména pro specifický způsob těžby a také dopravy těžných materiálů. Možností, která vede ke snížení prašnosti, jsou technické prostředky, kterými se uzavřou prostory, přesypy a transportní cesty, kde se prach často tvoří a odkud se šíří dál do okolí. V uhelném lomu se za vhodné opatření ukázalo zakrytování technologických úseků v uzavřených budovách uhelných zásobníků a ve venkovním prostoru se jedná o zakrytování dálkových pasových dopravníků. Účinným prostředkem je časté zkrápění z cisteren, které zkrápějí jak šachetní komunikace, tak přesypy pásových dopravníků. Dalším vhodným krokem snižování prašnosti a zároveň i rizika výbušnosti je odstraňování již usazeného prachu, pro jehož eliminaci je potřebné zametání, vysávání či zkrápění proudovými hadicemi nebo použitím jiného systému odprášení. Součástí je také kontrola a údržba těchto protiprašných technických prostředků. Důvodem odstraňování je skutečnost, že většina prachů vznikající průmyslovou činností je velice často hořlavá. Což znamená, že řada závodů, včetně dobývacích území, je tak náchylná k výbuchu (Abbasi, T. a Abbasi S. A., 2007).

V neposlední řadě jsou pracovníci chráněni používáním osobních ochranných pracovních prostředků, jako jsou respirátory a méně často používané také čtvrtmasky a polomasky s různými



filtry, podle povahy prachu. Všichni pracovníci podstupují pravidelným kontrolám zdravotního stavu a to jednak při nástupu do zaměstnání, tak i v pravidelných periodách (Matoušek a Boumruk, 1998). V Dolech Nástup Tušimicích každý zaměstnanec absolvuje pravidelné periodické prohlídky, včetně vyšetření dýchacích funkcí, každé tři roky. Frekvence kontrol a počet vyšetření závisí na kategorii, do které byl zařazen.

## **6 Doly Nástup Tušimice, charakteristika povrchového lomu**

### **6.1 Historie těžby v Severočeské hnědouhelné pánvi**

V Severočeské hnědouhelné pánvi se uhlí těží již velmi dlouho. První záznam o těžbě pochází z roku 1403. Dlouhá staletí se však jednalo o drobné doly a později i lomy. V roce 1945 v revíru těžilo 24 lomů a 34 hlubinných dolů. Postupně však docházelo k útlumu hlubinných dolů a těžba byla nahrazena povrchovým dobýváním (Štýs, 1995). Největší rozvoj velkolomové těžby je zaznamenán v 70. letech 20. Století.

Společnost Severočeské doly vznikla 1. ledna 1994 spojením Dolů Nástup Tušimice a Dolů Bílina v procesu restrukturalizace uhelného průmyslu (Severočeské doly a. s., 2011).

### **6.2 Těžební činnost v současnosti**

V současnosti jsou Severočeské doly, a. s. největšími producenty hnědého uhlí v České republice. Těžba probíhá na dvou lokalitách, Doly Nástup Tušimice (DNT) a Doly Bílina (DB), lomovým způsobem (Štýs, 1997). Doly Nástup Tušimice těží na lomech Merkur a Libouš a produkují především energetické uhlí. Těžba probíhá v nejzápadnější části Ústeckého kraje, mezi obcemi Černovice, Spořice, Droužkovice a Březno. Vytěžené uhlí je dodáváno především do místních elektráren Tušimice a Prunéřov, ale určitá část směřuje i do vzdálenějších elektráren, jako jsou Chvaltice, Mělník, Počerady a do teplárny Komořany. Nadložní skrývka dosahuje v současnosti 17,4 mil. m<sup>3</sup> plochy (Skupina Severočeské doly, 2013).

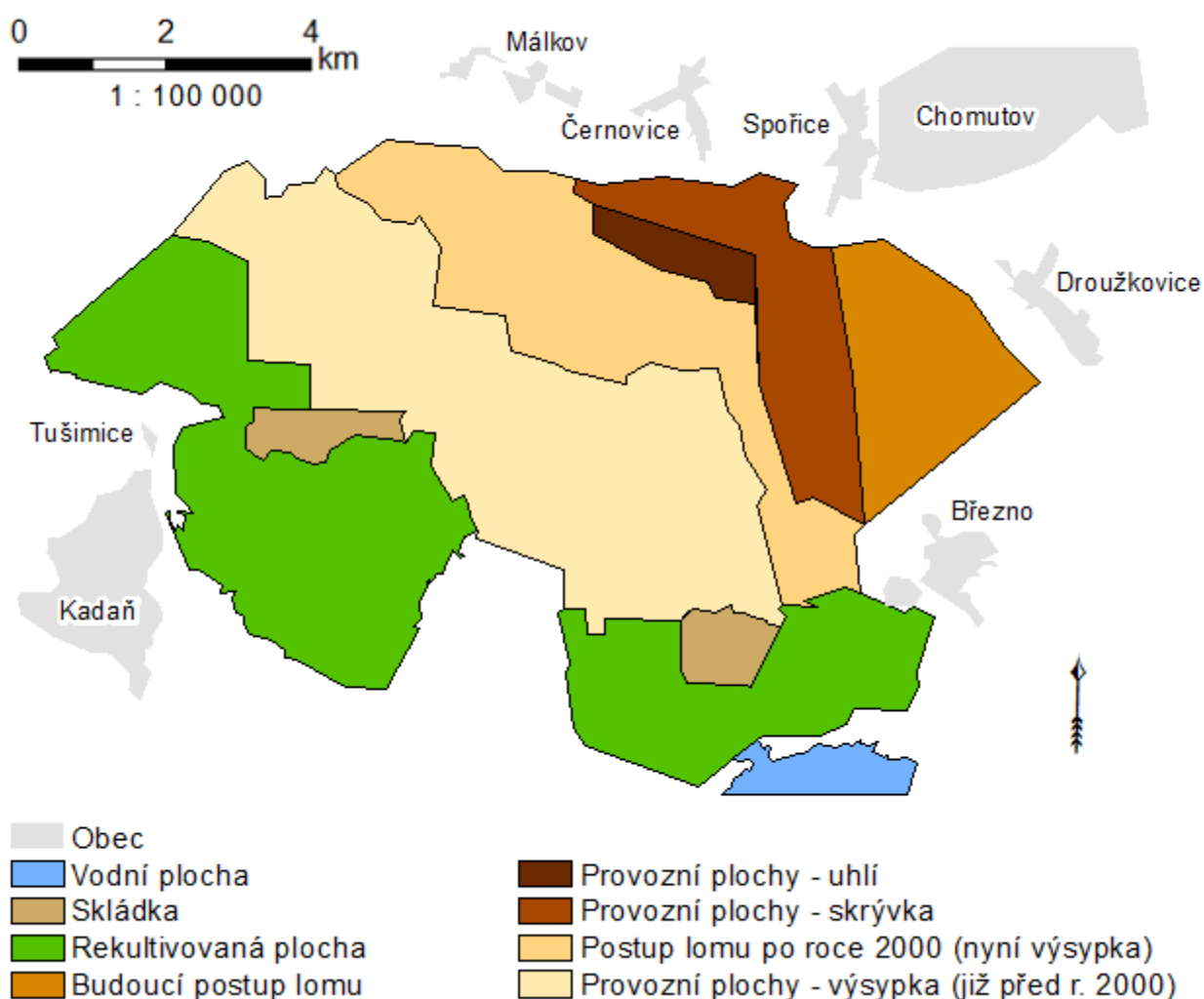
Doly Bílina jsou producentem nízko sirnatého, tedy kvalitnějšího, tříděného a energetického uhlí a rozkládají se na území Bílinska a Teplicka. Energetické uhlí dodávají do elektráren Ledvice, Mělník III a dalších velkých tepláren. Lom Bílina je nejhlubším povrchovým lomem v České republice, přičemž největší mocnost porubní fronty je v jeho severní a centrální části (Skupina Severočeské doly, 2013).

### **6.3 Technologie dobývání DNT**

Jako dobývací stroje pro rozrušování, nakládání uhlí a odklizových hlušin jsou v DNT nasazena kolesová rýpadla různých typů, která se řadí do skupiny strojů s nepřetržitým pracovním cyklem. Všechny dobývací stroje jsou poháněny elektrickým proudem. Na skrývce těží v současnosti rýpadlo KU 800 (na 3. skrývkovém řezu), o výkonu 5000 m<sup>3</sup> sypané horniny za hodinu, jehož provoz je plánován do roku 2029 (Stroje pro povrchové dobývání uhlí [online]). Na těžbě se podílí také SchRs 1320 (2. skrývkový řez), postupující směrem na východ a SchRs 1550 řady TC2 (1. skrývkový řez), jehož provoz bude uzavřen do roku 2026. Odtěžený materiál je následně

přepřavován prostřednictvím dálkových pásových dopravníků o šířce 1800 mm na výsypky k zakladačům stejné řady.

Uhelný řez dosahuje v severní části mocnosti 30 m a v jižní části až 40 m. Na prvním uhelném řezu jsou nasazena rýpadla K 800 N (v severní části) a dvě rýpadla KU 300s (v jižní části), určené k rýpání všech typů hornin. Na druhém uhelném řezu těží dvě rýpadla KU 300s a rýpadlo K 800 N, provozované do roku 2017. Vytěžené uhlí je přepřavováno dopravníky o šířce 1200 a 1600 mm k drcení a homogenizaci, pro zajištění konstantní výhřevnosti při jeho spalování, a je přepřavováno až do Elektráren Tušimice – ČEZ, nebo je nakládáno na kolejovou dopravu a vyváženo k dalším odběratelům (Doly Nástup Tušimice [online]). Na provozu lomu se podílí také důlní doplňková mechnaizace a autodoprava, napomáhající k přepravě skrývkového materiálu.



**Obr. 2:** Doly Nástup Tušimice – provozní plochy a postup těžby (podklady od Vrbová a Vrba, 2000, dále zpracování dle vlastního terénního výzkumu, generalizováno)

## 7 Experimentální část

### 7.1 Použité přístrojové vybavení

Monitorování koncentrací jednotlivých frakcí umožnily přenosné laserové nefelometry. Průběhy teploty a vlhkosti zprostředkovaly digitální záznamové teploměry-vlhkoměry s externí sondou.

#### 7.1.1 DustTrak

Pro výzkum prachových částic byly použity přenosné laserové nefelometry DustTraky DRX, model 8533 (TSI), měřící částice o velikostech od 0,1 do 10  $\mu\text{m}$ . Oba DustTraky jsou kalibrovány na arizonský silniční prach, což znamená, že v našich podmínkách měří vyšší hodnoty PM než jsou skutečné.

Přístroje byly uloženy do přenosných vodotěsných kufříků Environmental Enclosures (TSI). Vstupní částí zařízení je odběrová hlavice (inlet), která vystupuje z horní části kufříku a umožňuje odběr polétavých částic ze všech směrů, přičemž je propojena k detektoru umělohmotnou hadičkou. V tomto úseku se nachází také nádržka pro zachycování vodních kapiček, které jsou nasávány v případě dešťových srážek. Vzduch s aerosolem putuje dále tenkou tryskou, která jej usměrňuje v tenký "paprsek" vstupující do trubičky. Do té se současně vnáší čistý vzduch, který svou rychlostí vytváří podtlak a tím vzduch s částicemi nasává. Zároveň zabraňuje usazování částic na stěnách trubičky a reguluje je do jejího středu. Částice pak procházejí infračerveným paprskem pod úhlem  $90^\circ$  o vlnové délce 733 nm a od nich odražené světlo je se zaznamenává na detektoru. Měří se tak intenzita odraženého záření, která se následně převádí na hmotnostní koncentraci částic v objemu vzduchu.

Interval záznamu byl nastaven na 1 minutu. Během této doby byly měřené hodnoty časově průměrovány.

#### 7.1.2 Teploměr-vlhkoměr AirFlow

Měření mikroklimatických podmínek, teplota vzduchu a vlhkost vzduchu, zprostředkovaly digitální záznamové teploměry-vlhkoměry s externí sondou typu D3121 firmy AirFlow, které ukládaly naměřené hodnoty v minutových intervalech.



**Obr. 3:** DustTrak 8533, TSI (DustTrak DRX Aerosol Monitor 8533, [online])

## **7.2 Přípravné práce v laboratoři**

Před použitím přístrojů v terénu bylo zapotřebí jejich seřízení. Jednak byl u obou DustTraků ověřen průtok pomocí kuličkového rotometru na požadované 3 l/min. Součástí příprav byla také kolokace. Jelikož oba přístroje, přestože měří ve stejném čase a místě, vykazují v naměřených hodnotách jisté rozdíly, bylo provedeno takové měření, při kterém oba DT současně měřily aerosol vyskytující se v místnosti v daný čas za proměnných koncentrací po dobu 135 min. Prostřednictvím regresní křivky byl získán koeficient přepočtu a hodnota spolehlivosti R. Tímto postupem byl jeden z přístrojů označen za referenční, k němuž se pak vztahovaly hodnoty získané druhým přístrojem. Před měřením se provedla u obou DT také nulová kalibrace pomocí nulového filtru (HEPA filtru) připojeného k inletu, kterou je nutné provádět vždy před měřením.

## **7.3 Terénní výzkum**

V rámci terénního výzkumu se uskutečnilo týdenní měření prašnosti, které proběhlo ve dnech od 16. 3. do 23. 3. 2015, na kolesovém rýpadle v hnědouhelném lomu v DNT. Kolesové rýpadlo K 800 N/2, nacházející se v uhelném řezu na lomu Libouš Sever II, bylo zvoleno na základě vysoké těžební činnosti a tedy i předpokladu vyšší expozice pracovníků koncentracím prachu. Výběr stanovišť pro měření byl takový, aby jedno reprezentovalo vnitřní prostředí (kabina řidiče) a druhé, aby představovalo prostředí venkovní (část ochozu kolesového rýpadla). Současně s měřidlem prašnosti se kontinuálně měřily i mikroklimatické podmínky, jako teplota vzduchu a vlhkost vzduchu, které jsou významnými činiteli ovlivňující množství a velikost prachových částic v ovzduší.

### **7.3.1 Umístění přístrojů na kolesovém rýpadle**

Vhodné je umístění DT na tripod, aby měření reprezentovalo dýchací zónu pracovníků (150 až 170 cm nad zemí). To ovšem v případě kabiny řidiče nebylo z důvodu nedostatečného prostoru možné, a proto byl DustTrak č. 2 instalován ve výšce pouze 50 cm nad zemí (obr. 4). Kabina řidiče je situována na pohyblivém rameni nesoucím samotné koleso. DustTrak č. 1 byl umístěn na spodním ochoze v úrovni venkovního přesypu ve vzdálenosti cca 2 m od pásového dopravníku v těsné blízkosti odpočinkového prostoru (obr. 5). Z důvodu zajištění stálého napájení byly oba DustTraky po celou dobu měření zapojeny do elektrické sítě 220 V. V blízkosti DustTraků byly současně umístěny teploměry-vlhkoměry AirFlow



**Obr. 4:** DustTrak č. 2 umístěný v kabině řidiče (zdroj: vlastní)



**Obr. 5:** DustTrak č. 1 situovaný na spodním ochozu rýpadla (zdroj: vlastní)

### **7.3.2 Popis pracoviště**

Kolesové rýpadlo K 800 N/2 obsluhuje současně 6 pracovníků o různých profesích, kteří se střídají po dvanáctihodinových pracovních směnách v cyklu A, B, C, D. Jsou jimi řidič, zámečníci, elektrikáři a klapkař. Řidič ovšem neřídí stroj nepřetržitě 12 hodin, ale mění se po 4 hodinách se zámečníkem či elektrikářem. Úkolem pracovníků (kromě řidiče) je provádět po určitých intervalech jednak kontrolní pochůzky po rýpadle a sledovat stav strojních zařízení, dále pak zametat místa, kde se prach často tvoří a následně usazuje (především úseky přesypu uhlí). Každý pracovník má ze zákona také nárok během směny na přestávku, tu tráví v místnosti pro odpočinek, která je ve spodní části rýpadla.

## 8 Výsledky měření

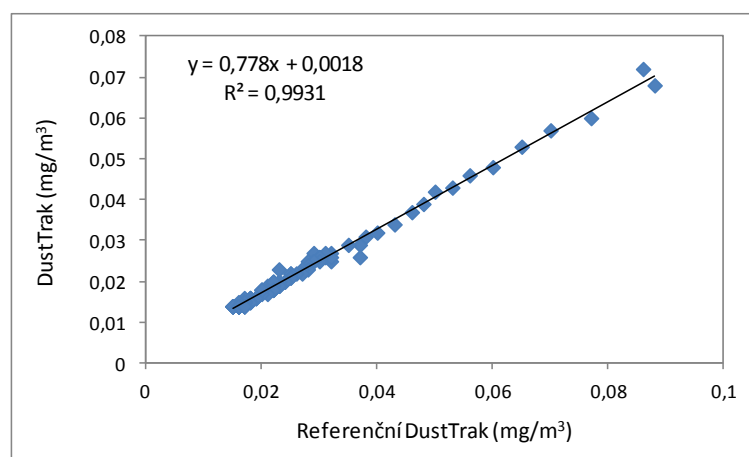
Práce zahrnuje výsledky jednak z kolokačního měření, jež bylo nutné, aby bylo možné přístroje porovnat, a dále jsou zde uvedeny průběhy koncentrací jednotlivých frakcí z měření na kolesovém rýpadle včetně mikroklimatických podmínek a statistického vyhodnocení.

### 8.1 Kolokační měření

Koeficienty přepočtu a hodnoty spolehlivosti pro každou frakci jsou znázorněny v tabulce 1. Regresní koeficienty se pohybují mezi 0,78 – 1,02 a hodnoty spolehlivosti v rozmezí od 0,95 do 0,99.

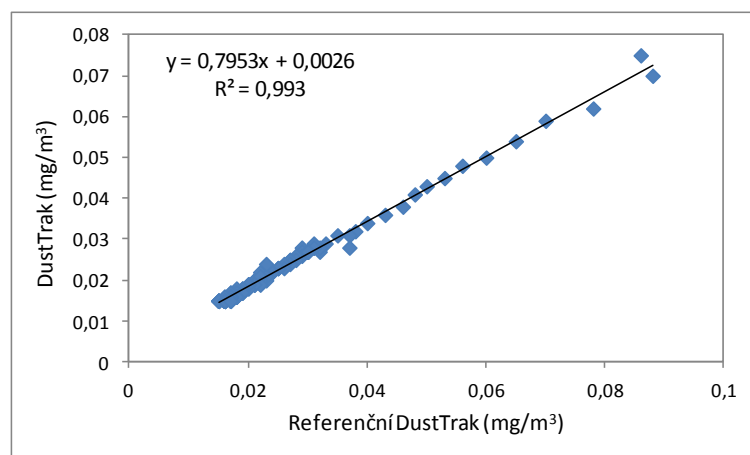
**Tab. 1:** Koeficienty přepočtu pro jednotlivé frakce

	PM <sub>1</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>resp</sub>	PM <sub>10</sub>
a	0,7780	0,7953	0,7968	0,8163
b	0,0018	0,0026	0,0026	0,0024
R <sup>2</sup>	0,9931	0,9930	0,9919	0,9913

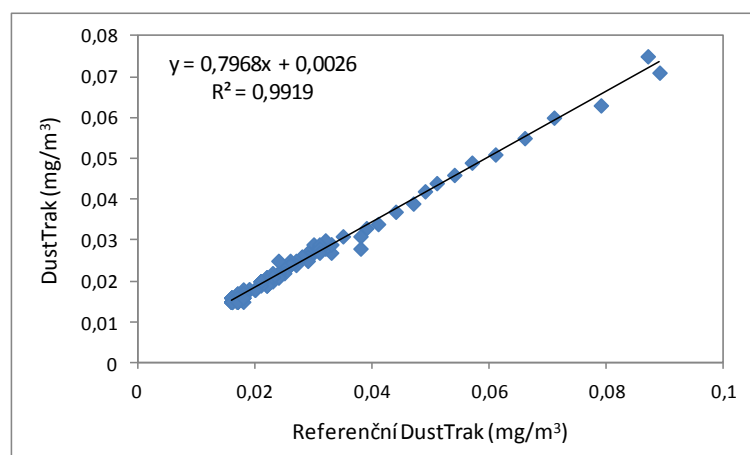


**Obr. 6:** Lineární regrese DustTraků pro PM<sub>1</sub>

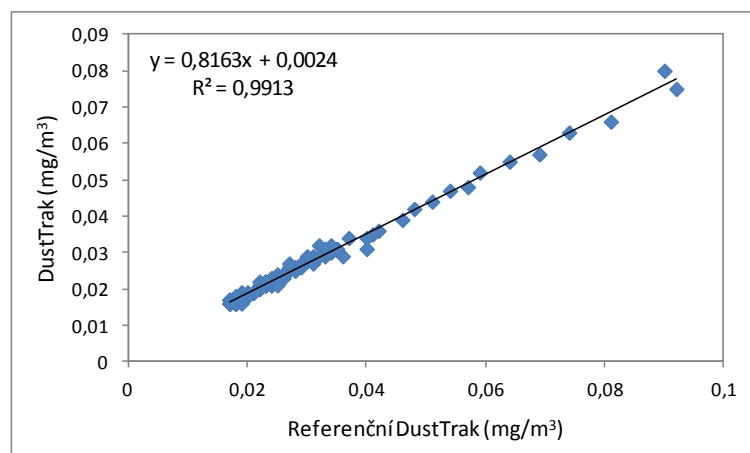




**Obr. 7:** Lineární regrese DustTraků pro PM<sub>2,5</sub>



**Obr. 8:** Lineární regrese DustTraků pro respirabilní frakci

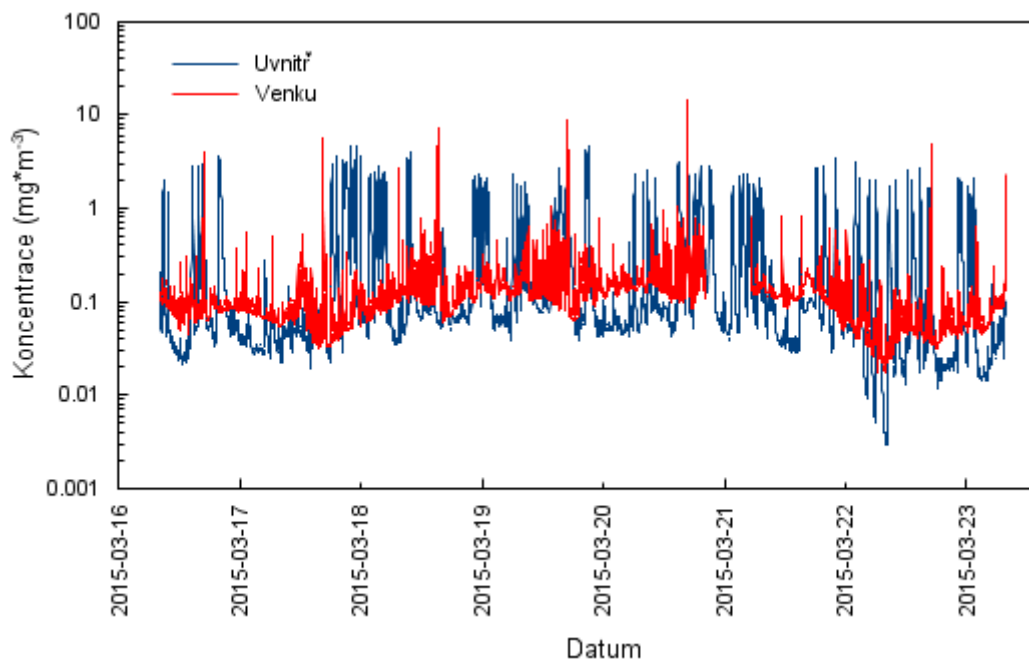


**Obr. 9:** Lineární regrese DustTraků pro PM<sub>10</sub>

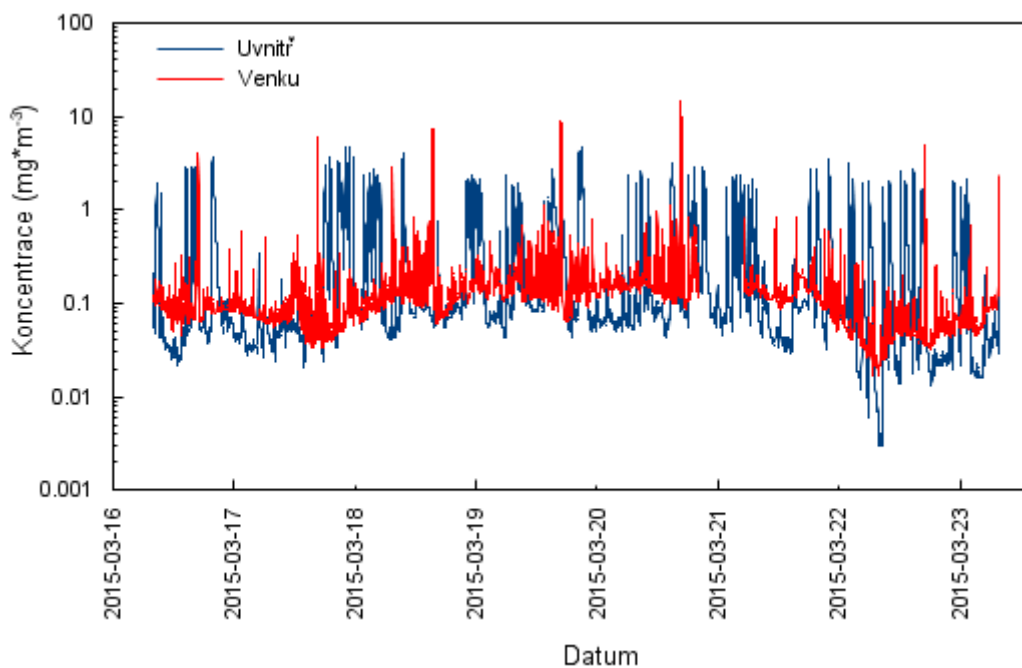
## 8.2 Měření na pracovišti kolesového rýpadla

Přístroje byly na kolesovém rýpadle spuštěny 16. 3. v 8:00 a vypnuty 23. 3. v 7:40. V průběhu měření (ze dne 20. 3. na 21. 3. od 20:14 do 5:11) byl přerušen monitoring venkovního DustTraku z důvodu odpojení z elektrické sítě.

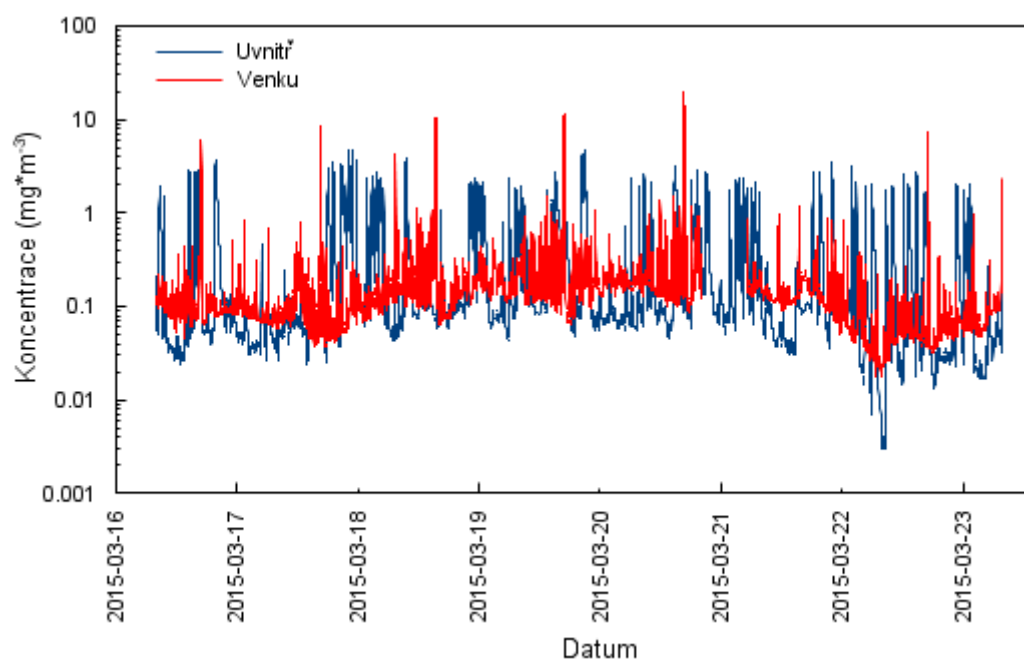
Průběhy koncentrací frakcí  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$ , respirabilní a hrubé frakce v kabině řidiče a na venkovním ochoze v průběhu týdne zobrazují obr. 10 – 14.



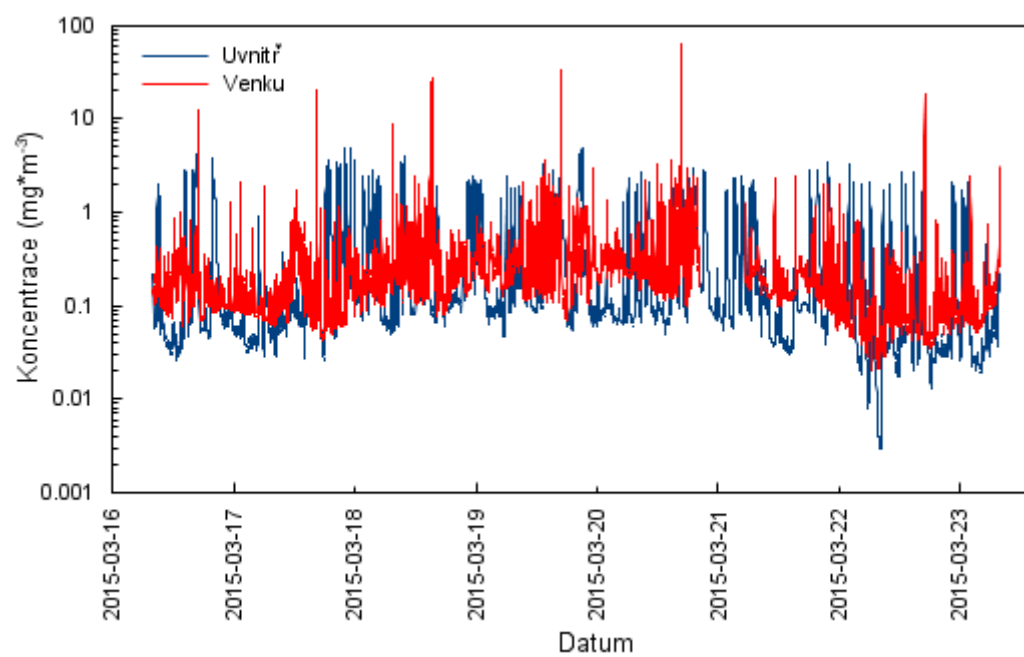
**Obr. 10:** Koncentrace  $PM_{10}$  uvnitř a venku od 16. 3. do 23. 3. 2015



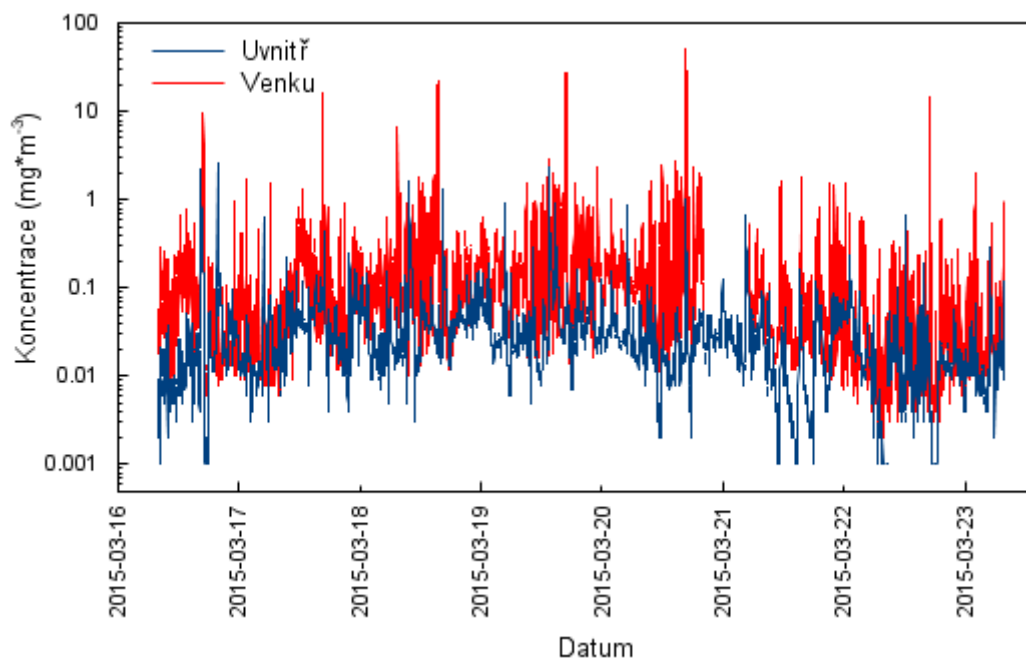
**Obr. 11:** Koncentrace  $PM_{2,5}$  uvnitř a venku od 16. 3. do 23. 3. 2015



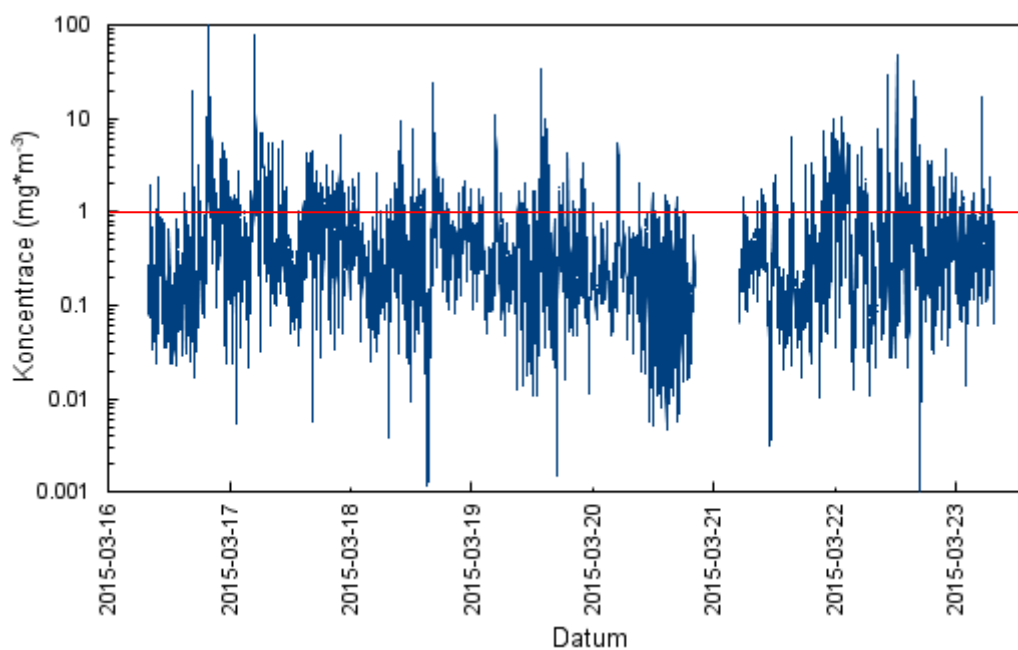
**Obr. 12:** Koncentrace respirabilní frakce uvnitř a venku od 16. 3. do 23. 3. 2015



**Obr. 13:** Koncentrace PM<sub>10</sub> uvnitř a venku od 16. 3. do 23. 3. 2015

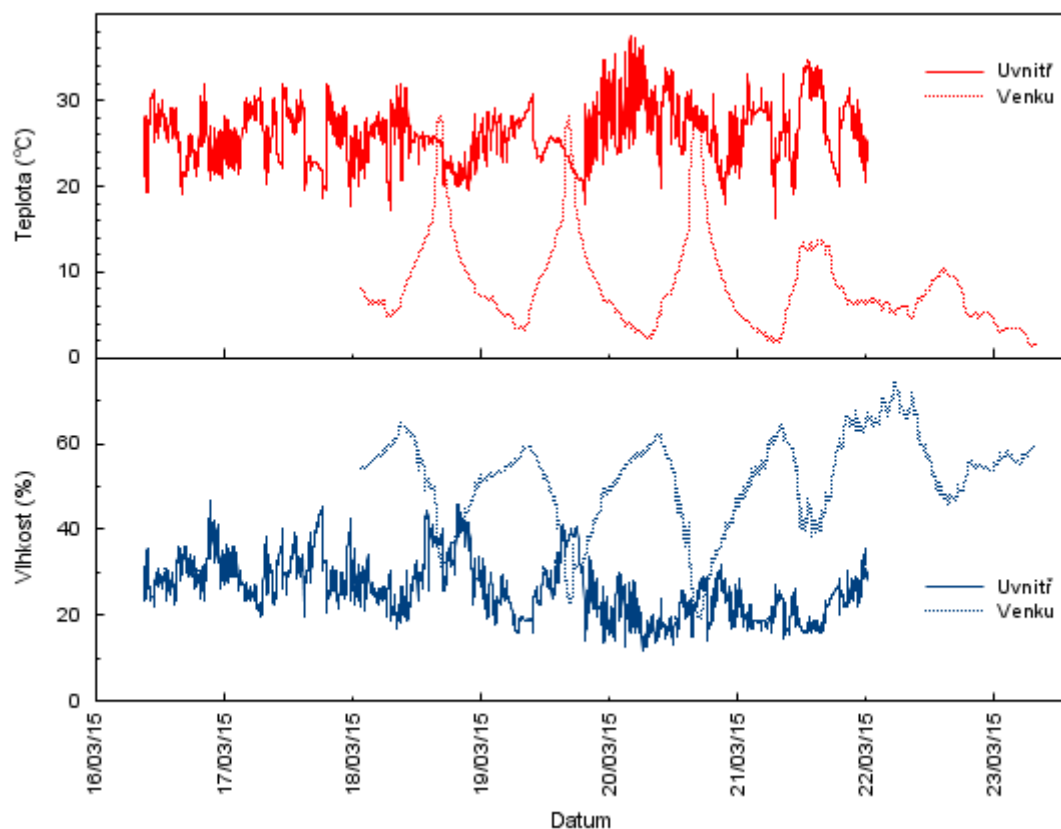


**Obr. 14:** Hrubá frakce uvnitř a venku od 16. 3. do 23. 3. 2015



**Obr. 15:** Poměr hrubé frakce mezi vnitřním a venkovním prostředím od 16. 3. do 23. 3. 2015

Obrázek 15 znázorňuje poměr hrubé frakce vnitřního a venkovního prostředí. Pokud jsou hodnoty menší než jedna, převažoval hrubý aerosol venku. Pokud jsou větší než jedna, převažoval hrubý aerosol v kabině řidiče.

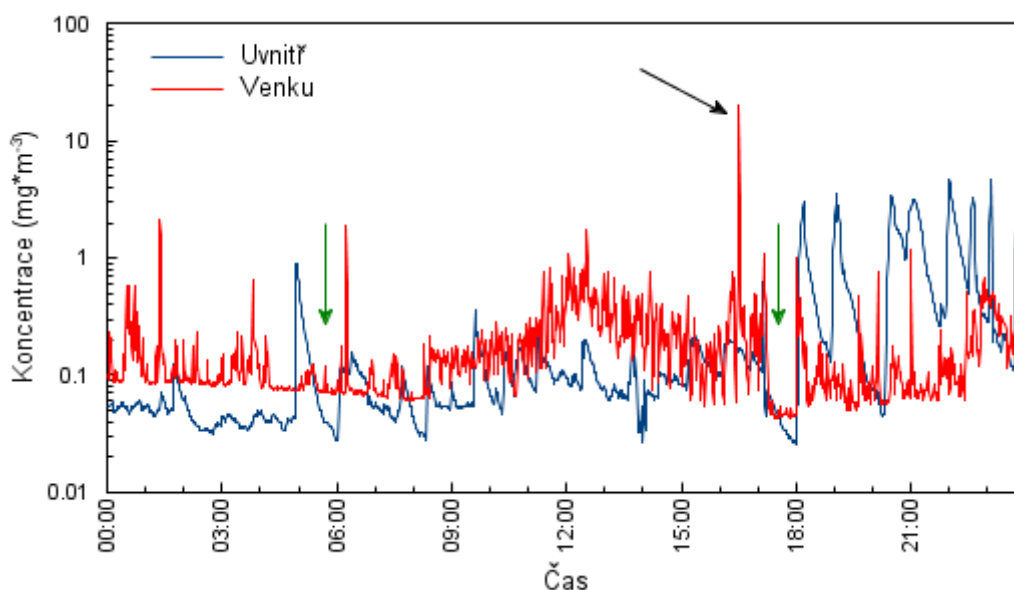


**Obr. 16:** Týdenní průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu v kabině řidiče a na venkovním ochozu rýpadla od 16. 3. do 23. 3. 2015

Týdenní průběhy teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu ve venkovním i vnitřním prostředí znázorňuje obr. 16. Z důvodu nedostatku kapacity paměti ukládal vnitřní měřič teploty a vlhkosti data pouze od 16. 3. do 22. 3. a venkovní měřič od 18. 3. do 23. 3. Uvedené venkovní hodnoty teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu jsou zatíženy chybným umístěním přístroje. Zakrytý detektor byl položen na kufřík s DustTrakem, čímž došlo k přehřívání.

## 9 Diskuze

Na venkovním ochoze kolesového rýpadla z průběhu týdenních hodnot frakce  $PM_{10}$  lze vypořizovat epizodické jevy. Jsou to jednak události, při kterých rýpadlo přerušovalo svůj provoz z důvodu předávání směn (obr. 17). Tento pokles koncentrací lze pozorovat vždy před 6:00 a 18:00 hodinou, kdy končí jedna směna a je střídána jinou. Při střídání směn kolesové rýpadlo vždy zastaví těžbu, čímž dojde k poklesu těchto částic. Následné zahájení těžby se pak projeví zvýšením koncentrací  $PM_{10}$  průměrně o  $0,64 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  na venkovním ochoze a v kabině řidiče je průměrný nárůst o  $1,15 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ . K výměně řidičů dochází také v průběhu jedné směny (v 10:00, 14:00, 22:00 a 2:00 hodin), kdy řidič rýpadla má povinnou 4hodinovou přestávku, během které vykonává jinou pracovní činnost než je řízení rýpadla, a je nahrazen elektrikářem či zámečником. V tomto případě se stroj zastavuje jen výjimečně, a proto ve venkovním prostředí k předešlé popisované situaci nedochází. K nárůstu koncentrací částic  $PM_{10}$  v kabině řidiče dochází v důsledku otevření dveří, jednak při výměně pracovníků a také v rámci kontrol revírníků či jiných TH pracovníků.

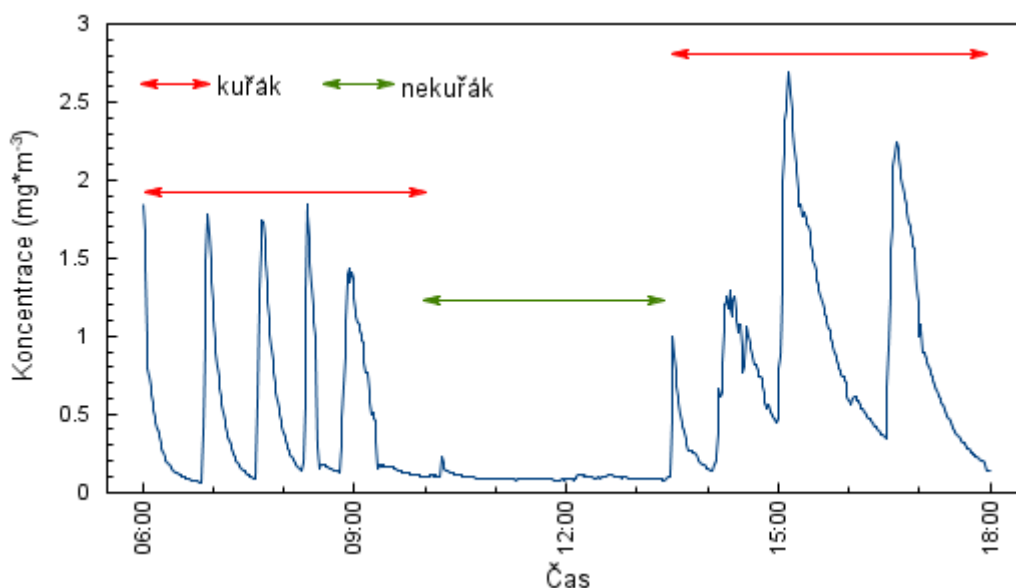


**Obr. 17:** Průběh koncentrace frakce  $PM_{10}$  ve venkovním i vnitřním prostředí v úterý 17. 3. 2015. Zelené šipky znázorňují střídání směn, černá šipka pravidelný úklid zametáním

Z naměřených hodnot byla dále vypořizována souvislost koncentrace prachu ve venkovním prostředí s konkrétní prováděnou činností, kterou byl pravidelný úklid zametáním v blízkosti přesypu (obr. 17). Během tohoto úklidu, který se provádí většinou mezi 16. – 17. hodinou, dochází k několikanásobnému zvýšení koncentrací ve venkovním prostředí v průměru

až o  $30,0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  částic  $\text{PM}_{10}$ . Minimální koncentrace během této činnosti dosahují hodnot  $12,49 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  a maximální koncentrace  $62,20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Po dokončení úklidu částice zcela sedimentují po cca 10 minutách. Ve sledovaném období byl úklid vynechán (v daném místě) pouze jednou a to 21. 3. v sobotu.

Z průběhů koncentrací  $\text{PM}_1$  jsou nápadné značné výkyvy v kabině řidiče. Tyto fluktuace, kdy koncentrace  $\text{PM}_1$  prudce vystoupají obvykle na  $1,50$  až  $2,80 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , jsou charakteristické stejným průběhem (rychlým nárůstem a pomalým poklesem), což značí, že jde o jednu opakovanou činnost. Kolísání je znázorněno v obrázku 18. Jelikož se jedná o tak malé částice, jejichž vznik nesouvisí s těžbou, lze předpokládat jejich původ z cigaretového kouře.



**Obr. 18:** Detailní průběh  $\text{PM}_1$  z kabiny řidiče ze dne 19. 3. od 06:00 do 18:00

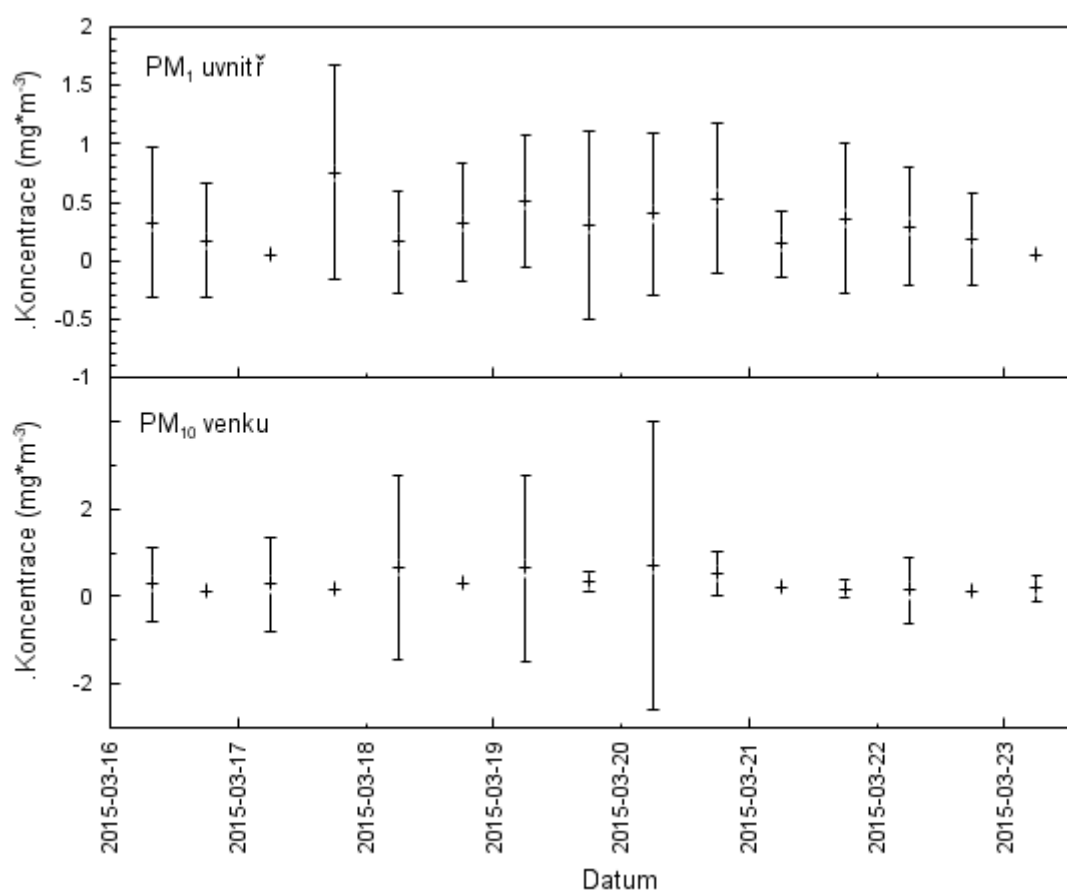
Ze statistické analýzy frakce  $\text{PM}_1$  (obr. 20) je patrné, že koncentrace těchto částic se výrazně liší mezi jednotlivými dvanáctihodnovými pracovními směnami. Pro pracovní prostředí v kabině řidiče rýpadla je tedy rozhodující, zda se v pracovní směně nachází kuřák, neboť tato kabina je jedno ze dvou možných míst, kde je kouření povoleno. Z ústního pohovoru s pracovníky kolesového rýpadla vyplynulo, že ve dvou pracovních směnách se kuřáci vyskytují. Z pracovního cyklu střídání směn (A, B, C, D), dle tzv. „fáracího“ kalendáře, se dá tedy vypočítat, která směna měla v konkrétní den službu.

Z obrázku 18 je zřejmé, že mezi 6:00 až 10:00, řídí rýpadlo řidič, jenž je kuřákem. Mezi 10:00 až 14:00 k fluktuacím koncentrace  $\text{PM}_1$  v kabině nedochází, jelikož je řidič střídán pracovníkem, který kuřákem není. Řidič se vrací do kabiny v 14:00 a řídí rýpadlo až do konce jeho směny (18:00).

Mezi jednotlivými pracovními směny dochází ke změnám v koncentracích částic i ve venkovním prostředí. Ve venkovním prostředí jsou pracovníci od 6:00 do 18:00 vystaveni vyšším koncentracím  $PM_{10}$  v důsledku již zmíněných pravidelných úklidů, zatímco následující směna noční (18:00 – 6:00) tento úklid nevykonává. Přehledová tabulka 2 uvádí základní statistická data pro porovnání denních a nočních směn.

**Tab. 2:** Porovnání statistických hodnot venkovní koncentrace  $PM_{10}$  ( $mg \cdot m^{-3}$ ) mezi denní a noční pracovní směnou

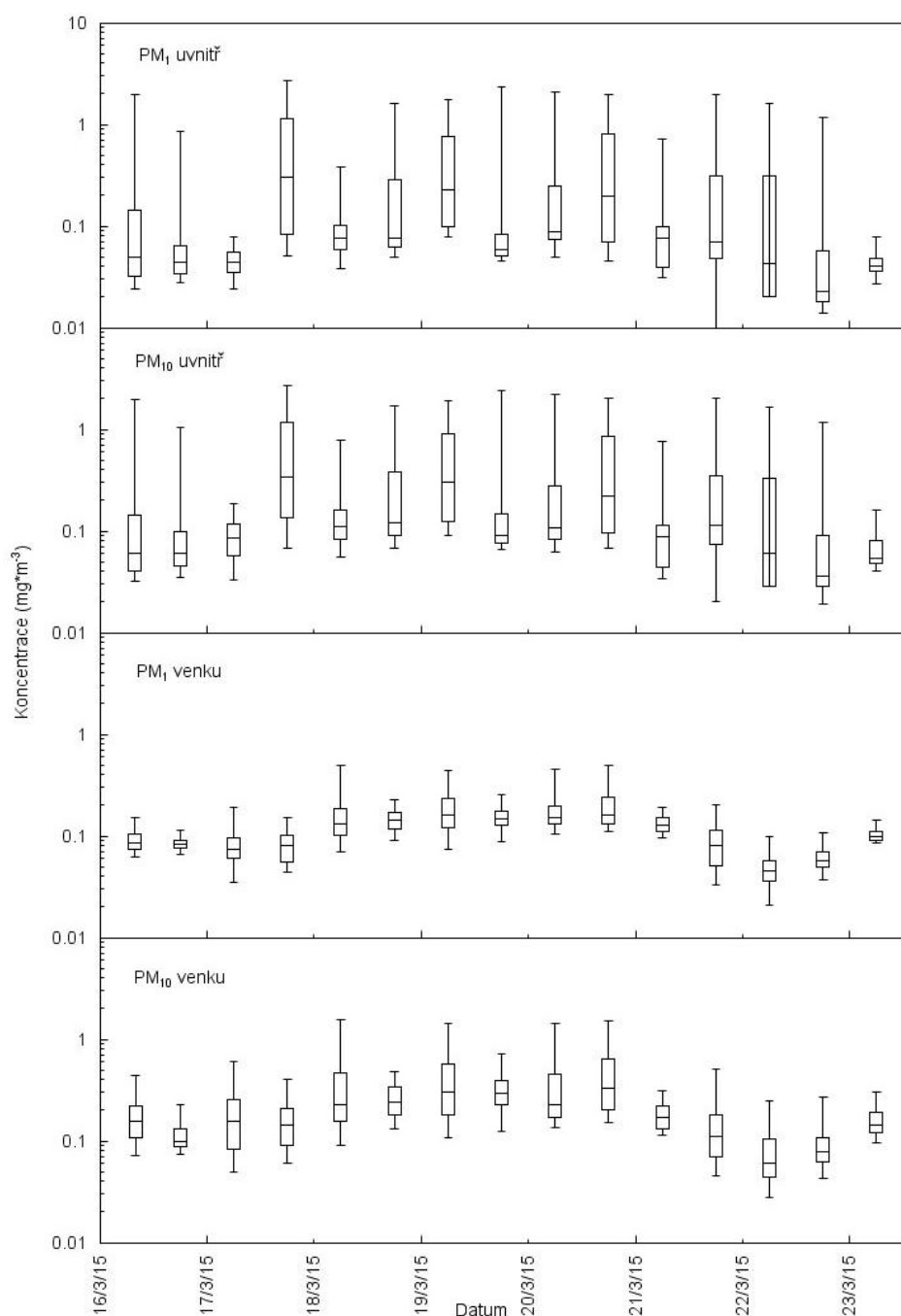
Směna	Střední hodnota	Maximum	Minimum	95% kvantil	75% kvantil	50% kvantil	25% kvantil	5% kvantil
Denní	0,41	62,20	0,02	1,04	0,29	0,18	0,12	0,05
Noční	0,21	2,92	0,03	0,54	0,27	0,15	0,09	0,06



**Obr. 19:** Variabilita hodnot mezi jednotlivými pracovními směny uvnitř pro  $PM_1$  a venku pro  $PM_{10}$  (vyjádřená jako aritmetický průměr a směrodatná odchylka)



Z obrázku 19 lze sledovat variabilitu hodnot  $PM_{10}$  a  $PM_{10}$  mezi jednotlivými pracovními směny ve venkovním i vnitřním prostředí. Největší variabilita hodnot  $PM_{10}$  (vyjádřená aritmetickým průměrem a směrodatnou odchylkou) dosahovala v kabině řidiče v jedné směně  $0,76 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3} \pm 0,92 (\sigma)$  a nejmenší variabilita ve směně jiné  $0,05 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3} \pm 0,02 (\sigma)$ . Největší variabilita hodnot  $PM_{10}$  na venkovním ochoze rýpadla byla zjištěna v denní směně  $0,69 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3} \pm 3,30 (\sigma)$ , zatímco v noční směně dosahovala nejmenší variabilita  $0,13 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3} \pm 0,12 (\sigma)$ .



**Obr. 20:** Statistické vyhodnocení frakce  $PM_{10}$  a  $PM_{10}$  ve vnitřním i venkovním prostředí pro jednotlivé dvanáctihodinové pracovní směny v průběhu týdne

Množství hrubého aerosolu (viz obr. 14), vznikající v důsledku těžby, je ve venkovním prostředí rýpadla více než v kabině řidiče a to celkem z 82 % měřeného času (136 hod a 47 min), zatímco v kabině řidiče převažoval hrubý aerosol jen v 18 % (30 hod a 53 min). Je to dáno především uzavřeným prostorem kabiny řidiče, do které částice pronikají pouze při otevření dveří. Významný podíl na množství hrubého aerosolu v jednotlivých částech kolesového rýpadla mají mikroklimatické podmínky.

Patrný je úbytek hrubého aerosolu na venkovním ochozu v nočních hodinách, vlivem poklesu teploty a nárůstu relativní vlhkosti vzduchu. V kabině řidiče, která je vybavená topením, ale ne klimatizací, se teplota v průběhu dne značně mění. Tyto časté změny teploty mohou být způsobeny otevíráním dveří do kabiny (při výměně řidičů a větrání).

Dle Nařízení vlády 361/2007 Sb. je řidič rýpadla zařazen do skupiny IIa, které uvádí přípustné hodnoty operativní teploty na pracovišti minimální 18 °C, maximální 27 °C a optimální  $20 \pm 2$  °C. Minimální teplota v kabině řidiče je během sledovaného období (16. – 22. 3.) 16,2 °C, maximální 37,6 °C a průměrná 26,1 °C. V průběhu týdne se vyskytují v kabině řidiče teploty, které 40,3 % překračují maximální limit z celkové doby měření. Hodnoty pod dolním limitem jsou sporadické (0,2 %). Přípustná relativní vlhkost vzduchu se pro tuto pracovní kategorii dle Nařízení vlády 361/2007 Sb. uvádí 30–70 %. Minimální vlhkost vzduchu v kabině řidiče je 11,9 %, maximální 46,7 % a průměrná 26,3 %. Z celkové doby měření byl limit pro minimální vlhkost vzduchu překročen v 73,4 %.

Z koncentrací získaných měření v kabině řidiče a ve venkovním prostředí lze vypočítat personální expozici řidiče, během jeho dvanáctihodinové pracovní doby podle pracovního snímku prováděných činností. Předpoklad nižší než limitní koncentrace potvrzuje výpočet:

$$k_p = (k_1 \cdot t_1) + (k_2 \cdot t_2) / t_1 + t_2 = (0,37 \cdot 8) + (0,42 \cdot 4) / 12 = 0,39 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$k_p$  = průměrná koncentrace

$k_1$  = průměrná týdenní celková koncentrace v kabině řidiče

$k_2$  = průměrná týdenní celková koncentrace na venkovním ochoze

$t_1$  = doba trvání činnosti řízení kolesového rýpadla

$t_2$  = doba trvání činnosti vykonávané ve venkovním prostředí

Ačkoli je empiricky potvrzena podlimitní celková koncentrace expozice řidiče, na základě výše zmíněných výsledků není možné vyloučit potenciálně škodlivý vliv menších částic. Z tohoto důvodu by bylo vhodné rozpracovat problematiku menších frakcí v kabině řidiče detailněji v navazujících studiích.

## 10 Závěr

Experimentálním stanovením bylo prokázáno, že koncentrace a zastoupení jednotlivých frakcí prachu na vybraném pracovišti kolesového rýpadla v DNT jsou odlišné mezi vnitřním a venkovním pracovním prostředím, zároveň dochází i k rozdílům mezi jednotlivými pracovními směny.

Hrubý aerosol převažuje v prostředí venkovním, ale na výsledné koncentrace mají vliv jednak mikroklimatické podmínky a především činnosti prováděné na venkovních ochozech rýpadla. Měřením bylo zjištěno, že právě pravidelný úklid (ruční zametání) je příčinou nejvyšších koncentrací hrubého aerosolu v průběhu dne. Ve venkovním prostředí se proto naměřené koncentrace liší mezi ranními a nočními směny, neboť v noci se úklid neprovádí. V kabině řidiče (vnitřním prostředí) tyto faktory nemají na množství prachových částic takový vliv. Rozdíly naměřených koncentrací  $PM_1$  mezi jednotlivými směny způsobuje cigaretový kouř. Expozice řidiče rýpadla se odvíjí od toho, jestli je kuřák či nekuřák.

Z měření zároveň vyplynulo, že k výkyvům koncentrací především  $PM_{10}$  dochází při střídání směn, kdy se kolesové rýpadlo zastaví, množství hrubého aerosolu nejprve poklesne a po znovuzahájení těžby prudce vzroste. Důvodem jsou zvířené částice, které během odstávky stroje sedimentovaly.

Pro další výzkum by bylo vhodné porovnání pracovního prostředí kolesového rýpadla v uhelném lomu a skrývkovém řezu a zmonitorování i jiných venkovních částí tohoto těžebního stroje. Nabízí se rovněž analýza filtrů pod mikroskopem, která by ověřila skutečný původ prachu a případně objevila nové příčiny prašnosti.

## Literatura

- Abbasi, T., Abbasi S. A. (2007). Dust explosions—Cases, causes, consequences, and control. *Journal of Hazardous Materials* 140: 7 - 44
- Baron, P., Kulkarni, P., A., Willeke, K., (2011). Aerosol Measurement, Principles Techniques and Applications. Třetí vydání. New Jersey, J. Wiley&Sons. 865 s. ISBN: 978-0-470-38741-2
- Bindhu, L., Sanjaya S. T. (2012). Prediction of dust concentration in opencast coal mine using artificial neural network. *Atmospheric Pollution Research* 3: 211 – 218
- Brown, S. J., Gordon, T., Price, O., Asgharian, B. (2013). Thoracic and respirable particle definitions for human health risk assessment. *Particle and Fibre Toxicology* 10: 1 - 12
- ČSN EN 481. Ovzduší na pracovišti. Vymezení velikostních frakcí pro měření poletavého prachu. 1994. Třídící znak 83 3621
- Fierro, M. (2000). Physical properties and physiological effects. *Particulate Matter*: 3 - 4
- Gautam, S., Prusty K. B., Patra K. A. (2012). Pollution Due to Particulate Matter from Mining Activities. *Recyklaža i održivi razvoj* 5: 54 - 55
- Hind C. W. (1999). Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles. Druhé vydání. New York, J. Wiley&Sons. 1326 s. ISBN: 978-0-471-19410-1
- Hovorka, J. (2009). Atmosférický aerosol. Definice a formy atmosférického aerosolu. In: Braniš, M., Hůnová, I. (Ed.), *Atmosféra a klima aktuální otázky ochrany ovzduší*. První vydání. Praha, Karolinum. s. 121 – 139. ISBN: 978-80-246-1598-1
- Hůnová, I., Janoušková, S. (2004). Vliv znečišťujících příměsí na receptory. Úvod do problematiky znečištění venkovního ovzduší. První vydání. Praha, Karolinum. s. 144. ISBN: 80-246-0796-4
- Chow, J. C. (1995). Methods to Determine Compliance with Ambient Air Quality Standards for Suspended Particles. *Journal of the Air & Waste Management Association Measurement* 45: 324 - 329
- Jungwirth, P. (2003). Aerosoly a chemie atmosféry. *Vesmír* 82: 196 – 198

- Liu, S., Box, M., Kalman, D., Kaufman, J., Koenig, J., Larson, T., Lumley, T., Sheppard, L., Wallace, L. (2003). Exposure Assessment of Particulate Matter for Susceptible Populations in Seattle. *Environmental Health Perspectives* 111: 914
- Loučka, T. (2014). Aerosoly v atmosféře. *Chemie životního prostředí*: 81 – 82
- Madar, Z., Pfeffer, A. (1973). Životní prostředí. První vydání. Praha, Orbis. 571 s. ISBN: 510-21-855
- Matoušek, O. Boumruk, J. (1998). Jaké jsou možnosti ochrany organismu proti prachu? *Práce v prašném prostředí* 1: 1
- Nařízení vlády 361 ze dne 12. prosince 2007, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. In: *Sbírka zákonů*. 28. prosince 2007, částka 111. Příloha č. 3: *Prach, hygienické limity a postup jejich stanovení*: 5086 - 5236
- Onder, M., Yigit, E. (2008). Assessment of respirable dust exposures in an opencast coal mine. *Environ Monit Assess* 152: 393 – 401
- Severočeské doly a. s. (2011). Stabilita v dynamice. 39 s.
- Skupina Severočeské doly (2013). Výroční zpráva Vaše energie. Praha, B. I. G. 2014. 160 s.
- Spielvogel, J., Chaloupecký, P., Weiss, M., Mölter, L. (2011). Kontinuální časově rozlišená měření jemných částic v atmosféře. *Chemmagazin* 3: 20 – 23
- Štýs, S (1995). Zelené proměny černého severu aneb plastická operace podkrušnohorské krajiny. První vydání. Praha, Bílý slon. 46 s. ISBN: 80-901291-8-8.
- Štýs, S (1997). Představení společnosti Severočeské doly a. s. Severočeské doly a. s. Chomutov a Prostředí pro život. První vydání. Praha, Bílý slon. 47 s. ISBN: 80-902063-7-9
- Vrbová, M., Vrba, T. (2000). Jezerní krajina po těžbě. První vydání. Most, K&B, s.r.o. 24 s.
- Vyhláška ministerstva zdravotnictví České republiky č. 432/2003 Sb. ze dne 4. prosince 2003, kterou se stanoví podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, podmínky odběru biologického materiálu pro provádění biologických expozičních testů a náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli.
- Whitby T. K. (1978). The physical characteristics of sulfur aerosols. *Atmospheric Environment* 12: 135 – 159

WHO (1999). Dust: Definitions and Concepts. *Hazard Prevention and Control in the Work Environment: Airborne Dust* 1 – 2

## Elektronické zdroje

Bartovská, L; Šišková, M. Aerosol, In: *Co je co v povrchové a koloidní chemii výkladový slovník* [online]. 2005 [cit. 2014-4-2].

Dostupné z: [http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-001/ebook.help.htm](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/ebook.help.htm)

Particulate Matter (PM), In: *United States Environmental Protection Agency* [online]. 18. března 2013 [cit. 2014-14-2].

Dostupné z: <http://www.epa.gov/airquality/particlepollution/basic.html>

Dohányosová, P; Kubincová, L; Smolík, J; Schwarz, J; Ždímal, V. Akumulační mod, In: *Výkladový slovník aerosolových termínů* [online]. 2007 [cit. 2014-15-2].

Dostupné z: <http://cas.icpf.cas.cz/download/Aerosolovnik.pdf>

Doly Nástup Tušimice, In: *Severočeské doly a.s.* [online]. [cit. 2014-16-2].

Dostupné z: <http://www.sdas.cz/aktivity/hornicka-cinnost/doly-nastup-tusimice.aspx>

DustTrak DRX Aerosol Monitor 8533, In: *TSI* [online]. 2015 [cit. 2014-14-3].

Dostupné z: <http://www.tsi.com/dusttrak-drx-aerosol-monitor-8533/>

Health, In: *United States Environmental Protection Agency* [online]. květen 2014 [cit. 2014-15-2]. Dostupné z: <http://www.epa.gov/air/particlepollution/health.html>

Hollerová, J. Prašnost na pracovišti, In: *Státní zdravotní ústav* [online]. 14. listopad 2007 [cit. 2015-16-2].

Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/prasnost-na-pracovisti-1>

Konvička, V. Stroje pro povrchové dobývání uhlí, In: *Hornická skripta* [online]. [cit. 2015-16-2]. Dostupné z: <http://www.hornictvi.info/prirucka/technika/uhli.htm>

Suspendované částice (aerosol), In: *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2014-14-2].

Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/weather\\_links/Pocasi/Navody/Znecisteni/susp\\_castice.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/weather_links/Pocasi/Navody/Znecisteni/susp_castice.pdf)

Šamánek, J. Kategorizace prací, In: *Státní zdravotní ústav* [online]. 2. červen 2007 [cit. 2015-1-3]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/kategorizace-praci>

## **Seznam příloh**

Příloha č. 1: Kolesové rýpadlo K 800 N/2, pohled na koleso a kabinu řidiče

Příloha č. 2: Vstup na rýpadlo, místnost pro odpočinek

Příloha č. 3: Pohled ze spodního ochozu rýpadla na rameno s pásovým dopravníkem

Příloha č. 4: Kolesové rýpadlo K 800 N/2 celkový pohled

Příloha č. 5: Kabina řidiče

Příloha č. 6: Umístění teploměru-vlhkoměru v kabině řidiče

Příloha č. 7: Místnost pro odpočinek

Příloha č. 8: Dílna zámečníků na spodním ochozu rýpadla



**Příloha č. 1:** Kolesové rýpadlo K 800 N/2, pohled na koleso a kabinu řidiče



**Příloha č. 2:** Vstup na rýpadlo, místnost pro odpočinek





**Příloha č. 3:** Pohled ze spodního ochozu rýpadla na rameno s pásovým dopravníkem



**Příloha č. 4:** Kolesové rýpadlo K 800 N/2 celkový pohled



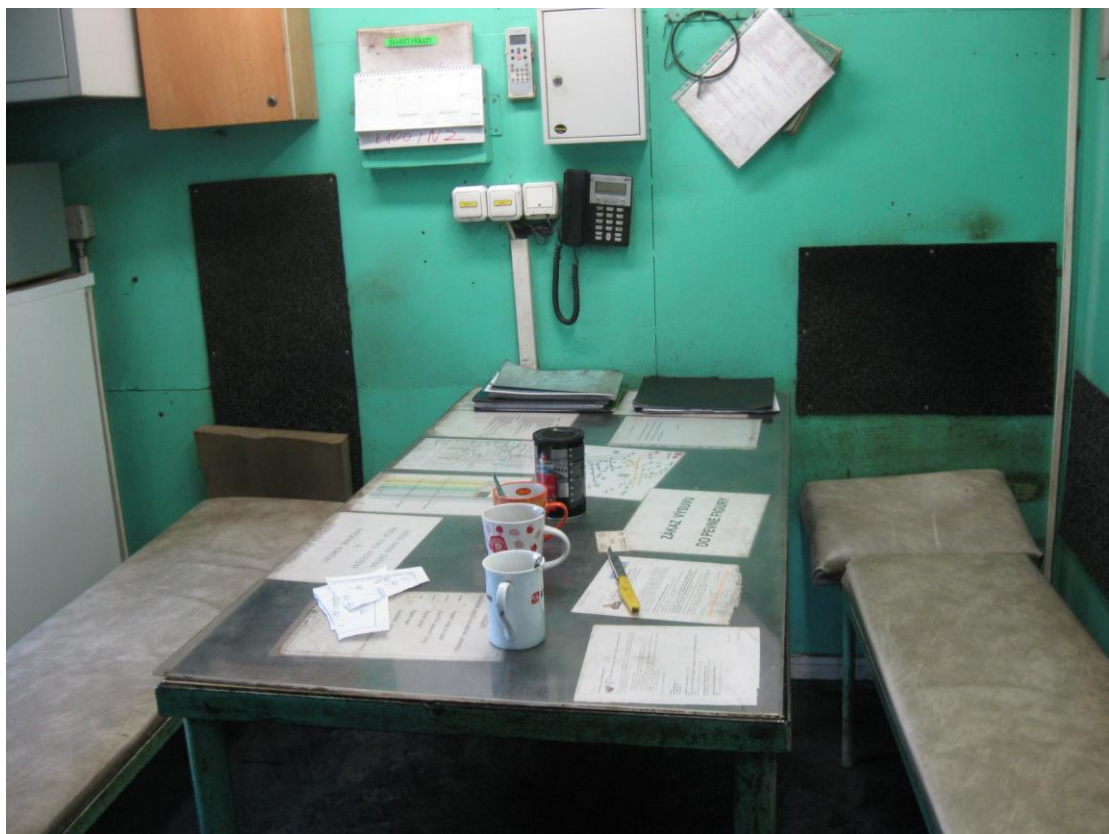


**Příloha č. 5:** Kabina řidiče



**Příloha č. 6:** Umístění teploměru-vlhkoměru v kabině řidiče





**Příloha č. 7: Místnost pro odpočinek**



**Příloha č. 8: Dílna zámečníků na spodním ochozu rýpadla**